

THESIS

MUNICH

1967

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG
ÜBER DIE EINWIRKUNG DES GLEICHSTROMES
AUF DIE ZAHNPULPA DES MEERSCHWEINCHENS

Werner Gruber

LANE MEDICAL LIBRARY OF
STANFORD UNIVERSITY
310 PASTEUR



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153307_0040

AUS DER KONSERVIERENDEN ABTEILUNG
(Vorstand: Professor Dr. Dr. M. Schug-Kösters)
DER KLINIK FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERKRANKHEITEN
(Direktor: Professor Dr. Dr. J. Heiß)
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG
ÜBER DIE EINWIRKUNG DES GLEICHSTROMES
AUF DIE ZAHNPULPA DES MEERSCHWEINCHENS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Werner Gruber
aus Olching

München 1967

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Professor Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS
Dekan: Professor Dr. M. KIESE

Tag der mündlichen Prüfung: 4. 4. 1967

MEINEN ELTERN
IN DANKBARKEIT GEWIDMET

INHALTSÜBERSICHT

A. EINLEITUNG

B. ALLGEMEINES ÜBER UNFÄLLE DURCH BLITZSCHLAG UND ELEKTRISCHEN GLEICHSTROM, MIT DEREN FOLGEN AUF DEN MENSCHEN, UND EINSTELLUNG DES ELEKTRI- SCHEN UNFALLGESCHEHENS IN STROMSTÄRKEBEREICHE

C. I. WIRKUNG DES GLEICHSTROMES

1. Physikalisch- chemisch
2. Physiologisch- therapeutisch

II. Eigene histologische Untersuchungen an der Pulpa von Meerschweinchen

1. Versuchsanordnung
2. Reaktion und Verhalten der Tiere nach der
Behandlung
3. Histologische Ergebnisse
 - a. Gefäße
 - b. Pulpengrundsubstanz
 - c. Odontoblasten
 - d. Dentin

III. Besprechung der Ergebnisse

D. ZUSAMMENFASSUNG

E. LITERATURVERZEICHNIS

A. EINLEITUNG

Die guten Erfolge, die die Anwendung des Gleichstromes zur Behandlung der Pulpitis brachte, waren die Veranlassung, die Wirkung des Gleichstromes auf das lebende Gewebe zu untersuchen und dabei nicht nur auf die einschlägige Literatur zurückzugreifen, sondern auch selbst Experimente vorzunehmen.

B. UNFÄLLE DURCH BLITZ UND ELEKTRIZITÄT UND EINTEILUNG DES ELEKTRISCHEN UNFALLGESCHEHENS

Die Wirkung des Blitzschlages auf Tier und Mensch war und ist Gegenstand zahlloser Beobachtungen, Mitteilungen, Artikel gewesen, die in den verschiedensten Zeitschriften und wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht worden sind. Es lag nahe, vor der Bearbeitung des Themas auf die Einwirkung des Blitzschlages auf den tierischen und menschlichen Organismus Bezug zu nehmen, da es sich auch hier um den Gleichstrom, allerdings in großen Stärken, handelt. Einige Autoren, in erster Linie SESTIER (34) haben sich mehrere Jahre dieser Arbeit gewidmet. BOUDIN (34), VINCENT (34), BOELLMANN (34), PELISSE (34) und andere haben sich ebenfalls damit beschäftigt.

Die Blitzgefahr für den Menschen ist auf dem Lande mit 80 % am stärksten. Einzelne stehende Bäume, freies Gelände sowie offene Straßen und Wege sind die gefährlichsten Standpunkte. Sie fordern über die Hälfte der Opfer. Es folgen Neubauten, metallfreie Hütten, Kirchen und dergleichen Gebäude mit geerdeten Installationen. Elektrizitäts-, Heizungsanlagen, Wasserleitungen bieten guten Schutz, denn die Unfälle beruhen meist auf indirekten Verletzungen oder Schreckwirkungen.

Folgen und Ausmaß der Blitzwirkung hängen vom Standpunkt der Person zur Einschlagstelle ab, wie etwa von der Entfernung zum Einschlagpunkt, ferner von der Körperhaltung, der Fußstellung sowie der Bodenbeschaffenheit.

Personen, die direkt getroffen werden, kommen meist nie mit dem Leben davon. Die Blitzeintrittsstelle ist in fast allen Fällen die Schädeldecke, wobei verbrannte Kopfhare, geldstückgroße Knochensubstanzzerstörung die charakteristischen Merkmale sind. Blitzaustrittsstellen sind die Füße, sichtbar an den Brandmalen an den Fußsohlen. Der Stromfluß im Körper findet zumeist in den für den Strom am besten leitenden Organen statt, wie den gut durchbluteten Muskeln und den Gefäßen. Auch über die äußere Körperfeuchtigkeit wird ein Teil der Energie abgeleitet, was zu Verbrennungen der Körperoberfläche führt.

Keine Baumart bietet Schutz, Blitzeintrittsstelle bei den unter Bäumen stehenden Personen war meist die obere Körperhälfte, und zwar in der Höhe, wo die Blitzspuren am Baumstamm aufhörten. Daraus folgt, daß die Leitfähigkeit des Körpers besser und der Standortwiderstand im allgemeinen geringer ist als bei dem Baumstamm mit seinen in die Erde greifenden Wurzeln. Andererseits ist das Überspringen auf den Körper dadurch zu erklären, daß der Blitz sich in Erdbodennähe in eine große Anzahl von Seitenentladungen teilt, von denen einzelne genügend Energie besitzen, um einen Menschen zu töten. Der hohe Schutzwert eines Blitzableiters wird im Schrifttum bestätigt.

Personenblitzschäden in metallumgeschlossenen Fahrzeugen und Verkehrsmitteln sind kaum bekannt, was darauf schließen läßt, daß solche nicht eingetreten sind. Diese Sicherheit ist in erster Linie auf das physikalische Prinzip des "Faraday'schen Käfigs" zurückzuführen. Personen, die unter diesen Umständen dem Blitzschlag ausgesetzt waren, sind in allen Fällen mit dem Schrecken davongekommen.

In Bezug auf die Körperhaltung ist die aufrechte naturgemäß besonders gefährlich. Die Verdichtung des erdelektrischen Feldes über dem Kopf des Menschen schafft die Voraussetzung für den Blitzeinschlag. Aus dem gleichen Grund werden auch Radfahrer fast immer tödlich getroffen. Der isolierenden Bereifung kommt keine Schutzwirkung zu. Verhältnismäßig sicher ist dagegen der liegende Mensch. Ein Schutz vor der Schrittspannung, bei nur kurzzeitiger Erdberührung beider Füße, ist nicht gegeben, obwohl die Todesfälle durch Schrittspannung verhältnismäßig selten sind. Personen hingegen, die angelehnt unter Bäumen standen, in welche der Einschlag erfolgte, wurden fast immer in die Strombahn einbezogen und verletzt oder getötet.

Die physikalischen Schadenswirkungen bei direktem Blitzschlag führen in den meisten Fällen zum Tode durch Einbeziehung des Herzens und der Atmungsorgane in die Blitzbahn. Die Folgen sind Herzkammerflimmern mit sofortigem Tod, schwere innere Verbrennungen mit verzögertem Tod, oder Atemlähmung, deren Todesfolge durch Wiederbelebungsversuche unter Umständen abgewendet werden kann. Von der Schrittspannung werden nur etwa 10 % der von ihr betroffenen Menschen getötet, weil Herz- und Atemwege außerhalb der kürzesten Strombahn liegen. Nebenschlußwirkungen, bei denen die Spannung durch andere Gliedmaßen und Körperteile abgegriffen wird, führen meist nur dann zum Tode, wenn lebenswichtige Organe in der Strombahn liegen.

Die Beeinflussungen des menschlichen Körpers beim Blitzdurchgang entsprechen im wesentlichen denen, die bei elektrischen Unfällen durch Gleichströme und Wechselströme entstehen.

Bereits ALVENSLEBEN (1) hat darauf hingewiesen, daß die physiologische Wirkung der Elektrizität in erster Linie von der Stromstärke abhängt. Die Amerikaner FERRIS (37), KING (37), SPENCE (37) und WILLIAMS (37) haben diese Erkenntnis in umfangreichen Arbeiten bestätigt. Es ist das große Verdienst von KOEPPE (14), für die Beurteilung des elektrischen Unfallgeschehens eine übersichtliche Einteilung in Stromstärkebereiche getroffen zu haben. In der Hauptsache wurden Unfälle durch Wechselstrom, aber auch durch Gleichstrom berücksichtigt. Die Übergänge der einzelnen Stromstärkebereiche sind natürlich fließend und gelten in erster Linie für Wechselströme bei einer Frequenz von 50 Hertz.

Der Stromstärkebereich I geht bis etwa 25 mA. Bei hohem Übergangswiderstand kann die Spannung 110, 220 und 380 Volt betragen. Es kommt zu geringen Blutdrucksteigerungen. Die Muskulatur ist leicht verkrampft, wobei auch die Atemmuskulatur betroffen sein kann. Die Einwirkungsdauer ist unbegrenzt. Rückwirkungen auf das Herz sind nicht feststellbar.

Der Stromstärkebereich II reicht etwa von 25 mA bis 80 mA bei einer Spannung von 110, 220 oder 380 Volt und etwas niedrigerem Übergangswiderstand. Es treten auf: Blutdrucksteigerung, Erhöhung des intrathorakalen und intraabdominalen Druckes, Verkrampfung der Muskulatur, Krampf der Atemmuskulatur bis zum Atemstillstand, Herzstillstand und unregelmäßige Herztätigkeit. Wenn die Einwirkungsdauer des Stromes 25-30 Sekunden übersteigt, kann der Herzstillstand in Kammerflimmern übergehen.

Der Stromstärkebereich III umfaßt Stromstärken von 80 mA bis 5 A bei niedrigem Übergangswiderstand und Spannungen von 110, 220 und 380 Volt. Es ist der gefährlichste Stromstärkebereich; denn es kommt nach einer Einwirkungszeit von länger als einer halben Sekunde zu dem gefürchteten irreversiblen Herzkammerflimmern, das nach den bisherigen Erfahrungen unbeeinflussbar zum Tode führt. Die übrigen Erscheinungen sind die gleichen wie im Stromstärkebereich II.

Der Stromstärkebereich IV umfaßt die Hochspannungsunfälle bei einer Stromstärke von über 3 bis 8 A und einer Spannung von über 1000 V. Die meisten Blitzunfälle sind in diese Kategorie einzureihen. Dabei entstehen schwere Verbrennungen und eventuell Verkochungen der Muskulatur. Es kommt zum Herzstillstand und anschließenden langanhaltenden Rhythmusstörungen, Blutdrucksteigerungen und zum Atemstillstand und nachfolgender unruhiger Krampfzuckung. Von den Verbrennungen abgesehen, gleichen die sonstigen Stromeinwirkungsfolgen denjenigen des Stromstärkebereiches II. Herzkammerflimmern tritt bei Hochspannungsunfällen relativ selten auf.

Im Hinblick auf den Gleichstrom ist zu sagen, daß die von KOEPPEN (14) aufgestellten Stromstärkebereiche dieselbe Gültigkeit besitzen, mit dem Unterschied, daß 3- bis 4-fache Stromstärken nötig sind, um die gleichen Erscheinungen auszulösen wie beim Wechselstrom. Nach neueren Untersuchungen von KILLINGER (13) über den Gleichstrom erfährt dieses Schema noch eine Änderung insofern, als der Herztod bei Querdurchströmung des Körpers mit Gleichstrom erst bei wesentlich höheren Stromstärken auftritt als bei Längsdurchströmung, was nach KILLINGER (13) durch den anatomischen Bau des Herzens und dessen Lage im Körper gegeben ist.

Die Wirkung der Elektrizität hat aber nicht nur nachteilige Folgen auf den Organismus von Tier und Mensch. In minimalen Dosen angewandt, ist es möglich, Krankheiten zu heilen. Insbesondere die Anwendung von Gleichstrom, die in der Medizin als Galvanisation bezeichnet wird, ist seit über 100 Jahren, dank der Entdeckung durch Robert REMAK (29), zu den meist verbreiteten unter den physikalischen Heilverfahren geworden. Um die Voraussetzung für das Verständnis der von mir durchgeführten Versuche zu schaffen, ist es wichtig, die allgemeine Wirkung des Gleichstromes in physikalisch-chemischer und physiologisch-therapeutischer Hinsicht zu kennen.

C. I. WIRKUNG DES GLEICHSTROMES

1. Physikalisch-chemisch

Die physikalisch-chemische Wirkung, die der elektrische Strom im Organismus erzeugt, ist im wesentlichen keine andere als die, welche er auch sonst im elektrolytischen Leiter auslöst, nur mit dem Unterschied, daß dank der komplizierten chemischen Struktur des Organismus die Vorgänge hier einem gewöhnlichen Elektrolyten gegenüber sehr verwickelt sind. Die Kenntnis dieser Vorgänge ist wiederum für das Verständnis der physiologischen Wirkung des elektrischen Stromes und dessen therapeutische Anwendung von entscheidender Bedeutung.

a) Die Ionenbewegung

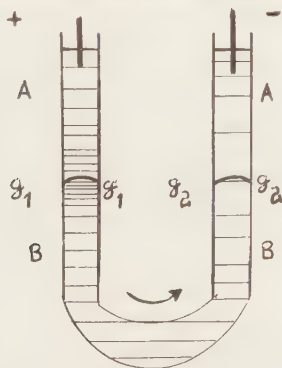
In allen Gewebsflüssigkeiten ist ein bestimmter Gehalt an wässrig gelösten Salzen, Säuren und Basen vorhanden. Darauf beruht die elektrische Leitfähigkeit des Organismus. Die Spaltprodukte dieser Moleküle gehen in Lösung und laden sich gleichzeitig elektrisch auf. Ein Chlornatriummolekül zerfällt zum Beispiel in ein positiv geladenes Natrium- und ein negativ geladenes Chlorteil-

chen ($\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$). Man stellt sich die Aufladung so vor, daß das Natriumatom eine negative Ladung, ein Elektron, abgibt, das vom Chloratom aufgenommen wird. Auf diese Weise erhält letzteres einen Überschuß an negativer Ladung, während das Natrium ein Zuwenig an negativer Ladung besitzt, wodurch seine positive Ladung überwiegt. Diesen Lösungsvorgang nennt man elektrolytische Dissoziation. In analoger Weise gehen Säuren ($\text{HCl} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$) und Basen ($\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$) in Lösung. Fließt nun durch eine solche Lösung ein Gleichstrom, so werden nach elektrostatischen Gesetzen die positiv geladenen Na-Teilchen vom positiven Pol abgestoßen und vom negativen angezogen. Sie wandern zur Kathode und heißen Kationen. Im Falle der negativen Chlorteilchen ist es umgekehrt. Sie werden vom negativen Pol abgestoßen und vom positiven angezogen. Als Anionen wandern sie zur Anode. Diese Verschiebungen von Anionen und Kationen zwischen den Wassermolekülen stellen das Wesen des elektrischen Stromes im elektrolytischen Leiter dar. Diese Ionenwanderung ist zugleich die Folge des elektrischen Stromes und der elektrische Strom selbst. Gelangen die Ionen zu den Elektroden in der Flüssigkeit, dann geben sie dort ihre Ladungen ab und werden als neutrale Atome frei.

Diesen Vorgang nennt man Elektrolyse, worauf später noch genauer eingegangen wird. Die bei der Dissoziation auftretenden Spaltprodukte stellen nicht immer einzelne Atome dar; vielfach bestehen sie auch aus Atomgruppen, zum Beispiel NO_2^- bei Lösung von HNO_3 , oder NH_4^+ bei Lösung von NH_4Cl .

b) Konzentrationsänderung an Grenzschichten

Die Beweglichkeit und Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen ist je nach ihrer Größe verschieden. Das H-Ion ist das beweglichste und schnellste unter ihnen. Es wandert zum Beispiel viermal so rasch wie das Chlorion und siebenmal so rasch wie das Na-Ion. Ein zweiter Faktor für die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen ist das Lösungsmittel. Je nach dem Reibungswiderstand, den sie zu überwinden haben, bewegen sie sich in einem Lösungsmittel rascher, in dem anderen langsamer. Daraus ergibt sich eine wichtige Erscheinung.



Nimmt man an, daß durch zwei Lösungsmittel A und B, welche beide das gleiche Salz gelöst enthalten und von solcher Beschaffenheit sind, daß sie sich nicht miteinander mischen, wenn sie in ein U-Rohr gemäß nebenstehender Abbildung übereinandergeschichtet

sind, ein Strom fließt, so wird es an den Grenzflächen beider Flüssigkeiten zu Konzentrationsänderungen kommen.

Bewegen sich bestimmte Ionen in dem Lösungsmittel A rascher als im Lösungsmittel B in Richtung des Pfeiles, so kommt es an der Grenzfläche g_1 g_1 zu einer Verdichtung der Ionen, also einer Konzentrationserhöhung, da sich die Ionen rascher zu ihr hin als weg bewegen. An der Grenzfläche g_2 g_2 dagegen wird eine Verminderung der Ionenzahl, daß heißt eine Herabsetzung der Konzentration eintreten, da die Bewegung der Ionen in der Lösung B gegen die Grenzfläche hin langsamer erfolgt als ihre Bewegung im Lösungsmittel A von ihr fort. Diese Ionenkonzentrationsänderung an der Grenzschicht zweier verschiedener Lösungsmittel ist nach W. NERNST (24) das reizauslösende Moment des elektrischen Stromes. Die wässrige Gewebsflüssigkeit und das Protoplasma sind nach ihm die beiden wichtigsten organischen Lösungsmittel. So werden z.B. die motorischen und sensiblen Reize an den Nerven durch diese Konzentrationsänderungen ausgelöst. Diese Konzentrationsänderungen nehmen bei gleichbleibender Stromrichtung und trotz der ihnen entgegenwirkenden Diffusion bis zu einem gewissen Grade zu, nehmen aber bei Umpolung des Stromes wieder ab. Die durch Wechselstrom hervorgerufene Ionenkonzentrationsänderungen nehmen mit zunehmender Frequenz ab, da die bei einer Halbwelle hervorgerufene Ionenverschiebung bei der darauffolgenden entgegenlaufenden Halbwelle wieder ausgeglichen werden will, und die Konzentrationsänderung mit der ihr verbundenen Reizwirkung mit jeder verkürzten Einwirkung geringer wird. Deshalb ist auch zu verstehen, daß mit zunehmender Frequenz die Reizwirkung auf den Organismus abnimmt und bei einer Frequenz von 100 000 Hz gleich Null ist.

c) Chemische Veränderungen während des Stromdurchganges

In einer einfachen homogenen Salzlösung finden auf dem Stromwege selbst keine chemischen Veränderungen statt. Bei verschiedenartigen Elektrolyten, die aneinander grenzen, lassen sich jedoch bei Stromdurchgang solche nachweisen. Das zeigt am besten folgendes Schema:

<u>Anode:</u>		<u>Vor Stromdurchgang</u>						<u>Kathode:</u>	
+	Na Na	Li Li	K K	Na Na					-
+	Cl Cl	Br Br	J J	Cl Cl					-

Anode:		Nach Stromdurchgang										Kathode:	
		Verschiebung $\longrightarrow$											
+	Na	$\longrightarrow$	Na	Li		Li	K		K	Na	Na		-
+	Cl Cl Br		Br	J		J	Cl		$\longleftarrow$		Cl		-
		$\longleftarrow$ Verschiebung											

Nach Stromdurchgang finden sich zu beiden Seiten der Grenzflächen Atomgruppen, die zuerst nicht vorhanden waren. In ähnlicher Weise stellt man sich die Einwanderung zellfremder Ionen vor, wenn die verschiedenen Zellen und Gewebe vom Strom durchflossen werden. Die Ionenkonzentrationsänderungen und die chemische Umgruppierung stellen nach den heutigen Erkenntnissen die Wirkung des galvanischen Stromes dar.

d) Elektrolyse, die chemische Veränderung an den Elektroden

Die Vorgänge, die sich bei der Wanderung der Ionen auf dem Stromwege, also interpolar, und die, welche sich an den Elektroden, also polar, abspielen, dürfen nicht verwechselt werden. Sie sind von Grund auf völlig verschieden. Wie bereits erwähnt, geben die Ionen an den Elektroden ihre Ladung ab und werden als neutrale Atome frei. Diesen Vorgang, der mit der Zersetzung des Elektrolyten einhergeht, bezeichnet man als Elektrolyse. Es ist wichtig zu wissen, daß diese elektrolytische Zersetzung nur in unmittelbarer Nähe der Elektroden, also an ihren Berührungsflächen, vor sich geht. An der Anode werden Sauerstoff und Säure frei (z. B. $2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{HCl} + \text{O}_2$), an der Kathode Wasserstoff und Basen (z. B. $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$). Die Kenntnis dieser Vorgänge ist bei der praktischen Anwendung der Galvanisation von Wichtigkeit, da die auftretenden Verätzungen der Haut bei direkter Auflage der Metallelektroden durch Zwischenlage eines feuchten Stoffes vermieden werden können.

e) Elektrophorese, die Wanderung kolloider und anderer fester Teilchen

Die Lösungen des Organismus bestehen jedoch nicht ausschließlich aus Ionen, sondern mehr als die Hälfte sind kolloider und höher molekularer Natur. Sie können ebenfalls elektrisch geladen sein, aber nicht unbedingt durch elektrolytische Dissoziation, sondern durch Adsorption von Ionen bestimmter Polung, so daß diese Teilchen im elektrischen Stromgefälle wandern, derart, daß sie von den Ionen gleichsam ins Schlepptau genommen werden. Ihre Verschiebung durch den elektrischen Strom darf bei ihrer Bedeutung, die ihnen bei den Lebensvorgängen zukommt, in therapeutischer Hinsicht nicht unterschätzt werden, wenn

sich auch die bei ihrer Verschiebung auftretenden komplizierten Vorgänge nicht so leicht erfassen lassen wie die Ionenverschiebung.

Bei den noch größeren Teilchen als den Kolloiden hat man in Bezug auf die Bezeichnung des Wanderungsvorganges von Anaphorese und Kataphorese gesprochen, je nachdem, ob das Teilchen zum positiven oder negativen Pol gewandert ist. Es ist jedoch besser, die Wanderung dieser groben Partikel ebenfalls unter den Begriff der Elektrophorese einzureihen, da der Zusatz von Säuren und Alkalien zum Suspensionsmittel die gegensätzliche Aufladung bewirken kann und so aus einem Anion ein Kation wird. Als Beispiel solcher grobmolekularer Teilchen seien Kohle, Schwefel, Ton, Stärkekörnchen, Fettröpfchen, Blutkörperchen, Bakterien und andere Einzeller angeführt.

f) Elektroosmose, die Wanderung von Flüssigkeitsteilchen mit hoher Dielektrizitätskonstante

Ebenso wie feste Teilchen, von Ionen mitgeschleppt, im elektrischen Spannungsgefälle wandern, werden Flüssigkeitsteilchen verschoben. So wird das Wasser positiv aufgeladen und bewegt sich beim Stromdurchgang zur Kathode. Das zeigt folgender Versuch:

Wird ein mit gewöhnlichem Leitungswasser gefülltes Gefäß durch ein Diaphragma aus porösem Ton so getrennt, daß auf beiden Seiten das Wasser gleich hoch steht, und wird in beide Gefäßhälften je eine Elektrode gehängt, dann wird das Durchfließen eines genügend großen Gleichstromes den Flüssigkeitsspiegel im Kathodenraum heben. Das ist nur dadurch zu erklären, daß Wasserteilchen durch die Tonwand von der Anode zur Kathode gewandert sind. In Analogie zur Wanderung kolloider und fester Teilchen hat man diese Erscheinung als Kataphorese bezeichnet. In Anbetracht der Tatsache, daß sich die Bewegungsrichtung der Wasserteilchen bei Säurezusatz umkehrt und im Hinblick auf die Ähnlichkeit zu den Vorgängen bei der Osmose, spricht man besser von Elektroosmose. Sie tritt umso deutlicher in Erscheinung, je geringer das spezifische Leitungsvermögen der Flüssigkeit ist, das heißt je weniger konzentriert die Lösung ist.

2. Physiologisch-therapeutisch

Es hat sich also gezeigt, daß der galvanische Strom beim Durchfließen eines lebenden Organismus die gleiche physikalisch-chemische Wirkung entfaltet wie in einem toten Leiter zweiten Grades. Außer dieser als entscheidend festgestellten Änderung der Ionenkonzentration und des Ionenbestandes, die

sich zum Teil in der Beschaffenheit des Gewebes durch Veränderung der Färbbarkeit, Erweiterung des Keratinnetzes, Veränderung in der Dicke der Nervenfasern sowie Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen, basophile Überfärbung bei hohen Stromdosen (4-5 mA), Gasemphysem und Gewebsnekrosen (30) zeigen, lassen sich Erscheinungen wie Muskelzuckungen, Herabsetzung der Schmerzempfindung und dergleichen feststellen, die als spezifische Lebensäußerungen zu betrachten sind und allgemein physiologische Wirkung des elektrischen Stromes heißen. Die physiologischen Erscheinungen sind also die Folge der chemisch-physikalischen Zustandsänderungen und zugleich Voraussetzung für die Therapie. Sie sind entweder direkt durch das Auge zu erkennen, wie die Muskelzuckung beim Öffnen oder Schließen des Stromkreises, oder indirekt über die veränderte Gewebsreaktion, zum Beispiel im Sinne einer Herabsetzung des Schmerzes zu konstatieren. Die letztere Art bezeichnete REMAK (29) als die katalytische Wirkung und dürfte auf biochemischen Veränderungen im Gewebe beruhen. FLECKENSTEIN (9) führt sie auf die Repolarisation des abgesunkenen Membranpotentials der Nerven zurück. Man kann sich das so vorstellen, daß durch die genannten Konzentrationsänderungen und Umgruppierung der Ionen Reize ausgelöst werden, die zu einem Abbau im Zellsystem führen. Dadurch kommt es, wie bei einer äußeren Wunde, zur Zerstörung krankheits- und schmerzzerregender Atomkomplexe. Da aber das Charakteristikum des Lebens Abbau und Aufbau, Dissimilation und Assimilation ist, treten an Stelle der zerstörten, unbrauchbaren, neue, funktionstüchtige Bausteine und leiten somit die Heilung ein.

a) Die erregbarkeitssteigernde Wirkung

Durchströmt ein konstant fließender Gleichstrom in therapeutischer Dosis, also unter 25 mA, einen Muskel, so kommt es in diesem Fall zu keiner Muskelzuckung wie bei einer plötzlichen Stromschwankung, sondern es verändert sich die Erregbarkeit des Muskels dergestalt, daß die Reizfähigkeit erhöht oder vermindert wird. Dies hat PFLÜGER (33) am Nervmuskelpreparat des Frosches gezeigt. Er fand in der Umgebung der Anode eine Herabsetzung (Anelektrotonus), in der Umgebung der Kathode dagegen eine Steigerung der Erregbarkeit (Kathodelektrotonus). Die Folgerung, die sich nach Autoren wie SCHEMINSKY (32), HERMANN (11) und SCHAEFER (31) für die Therapie ergab, die Anode sei die beruhigende, schmerzstillende, die Kathode die erregende Elektrode, wird von KOWARSCHIK (16) abgelehnt. Am lebenden Menschen konnte man nachweisen, daß ein durch den Arm fließender konstanter Gleichstrom die Erregbarkeit der Armmuskulatur sowohl gegen einen galvanischen wie faradischen Reiz erhöht, was bedeutet, daß die Muskelkontraktion schon bei einer geringeren Stromstärke

ke ausgelöst wird als bei einem nicht stromdurchflossenen Muskel. Das ist nur so zu erklären, daß der galvanische Strom schon an sich einen unterschwelligen Reiz setzt. Auf diese erregbarkeitssteigernde Wirkung des galvanischen Stromes sprechen aber nicht nur äußere Reize an, sondern auch Willensimpulse. So ließ sich an gelähmten Kranken zeigen, daß sie während der Durchströmung gewisse Muskelbewegungen ausführen konnten, die ohne Strom nicht möglich waren. Die Bewegungsfähigkeit hielt nach der Behandlung nicht selten noch eine gewisse Zeit an, bis sie wieder völlig verschwand. Auf Grund dieser Beobachtungen wird der galvanische Strom als Therapiemittel gegen Lähmungen angewendet. RIED (27) und viele andere Autoren stützten diese Anwendung durch den Tierversuch. Die Versuche an Meerschweinchen, Kaninchen und Hunden zeigten, daß die an den hinteren Extremitäten künstlich gesetzten Lähmungen an der galvanisch behandelten Seite rascher zurückgingen als an der unbehandelten. Auch die raschere Regeneration und Auswachsung von verletzten oder durchschnittenen Nervenfasern unter der Einwirkung des elektrischen Stromes wurde von PIONTKOWSKY (27) KOSAKA (27) und IZAWA (27) bestätigt.

b) Die kontraktionsauslösende Wirkung

Wie bereits erwähnt, führt das plötzliche Öffnen und Schließen des galvanischen Stromkreises zu kurzzeitigen, blitzartigen Muskelzuckungen. Dabei ist die von der Kathode ausgehende Erregung stärker als die der Anode. Wird nun der Strom pausenlos geöffnet und geschlossen und steigert man diesen Vorgang bis zu einer Frequenz von über 30 Hertz, dann trifft jeder neue Reiz den Muskel im Zustande der Kontraktion. Er hat keine Zeit mehr, sich zu entspannen, es kommt zu einer Dauerkontraktion, dem Tetanus. Die gleiche Erscheinung tritt bei Wechselströmen mit einer Frequenz bis zu einer halben Million auf. Alle Ströme mit höherer Frequenz zeichnen sich durch das Fehlen jeder sensiblen und motorischen Reize aus, was dadurch bedingt ist, daß infolge des raschen Richtungswechsels und der kurzen Dauer einer Halbwelle die durch sie bewirkten Ionenkonzentrationsänderungen nicht ausreichen, einen physiologischen Reiz zu setzen. Es wurde ausschließlich die an sich schon bestehende Wärmebewegung der Ionen verstärkt, was bei genügender Stromstärke zu einer subjektiv und objektiv wahrnehmbaren Temperaturerhöhung an der behandelten Stelle führt.

c) Die sensible Nervenwirkung

Charakteristisch für den galvanischen Strom ist die Beeinflussung schmerzhafter Restzustände. So lassen sich zum Beispiel neuritische und neuralgiforme Beschwerden beseitigen, die auf andere Weise nicht zu beeinflussen waren. Für

diese schmerzstillende, analgesierende Wirkung des Gleichstromes wurde früher, wie bereits erwähnt, der Anelektrotonus im Sinne PFLÜGERS herangezogen und dementsprechend die Stromrichtung bei der Behandlung von Schmerzzuständen beachtet. U. a. trat ERB (6) gegen diese Vorstellung auf und betonte, daß der verminderten Erregbarkeit an der Anode während des Stromflusses eine Übererregbarkeit nach Absetzen des Stromes folge, was therapeutisch viel wichtiger sei. Außerdem wies er darauf hin, daß die Verhältnisse an präparierten Forschernerven nicht auf die am lebenden Menschen übertragen werden können, da es praktisch nicht möglich ist, bei einer Ischias- oder Brachialisneuralgie die ganze Extremität unter die allgemeine Wirkung der Anode zu setzen. Auch die klinischen Erfahrungen, die KOWARSCHIK (16) an vielen Fällen gewinnen konnte, sprechen gegen die Annahme von der alleinigen Schmerzstillung durch den Anelektrotonus. KOWARSCHIK (16) und andere Autoren wie VERNAY (36), DIGNAT (36), BERGONIÉ (36) und LEDUC (36) stellen sich auf den Standpunkt, die schmerzstillende Wirkung des galvanischen Stromes beruhe nicht auf dem Elektrotonus, sondern auf den Veränderungen des Ionenmilieus, die auf dem ganzen Stromwege durch Ionenverschiebungen zustande kommen.

Auf Grund zahlreicher Untersuchungen von KLARE (36) scheint es wahrscheinlich, daß mehrere Komponenten bei der Ausschaltung des Schmerzes zusammenwirken, wenn man in Betracht zieht, daß der konstante galvanische Strom eine ausgeprägte Tonusherabsetzung des Sympathikus verursacht, wodurch ebenfalls eine Hebung der Schmerzschwelle bewirkt wird.

d) Vasomotorische Effekte

Die Durchströmung mit galvanischem Strom führt weiterhin nach einer vorübergehenden Verengung zu einer Vasodilatation im Sinne einer aktiven Hyperaemie, was nach STAUB (36) durch die Freisetzung von Histamin und anderen Vasodilatoren wie Acetylcholin, Anerylsäure usw. bewirkt werden soll. Die Haut ist entsprechend den Elektrodenauflagestellen gerötet und die Temperatur um einige Grade Celsius erhöht. Diese Wärmewirkung des galvanischen Stromes ist wiederum nicht mit der durch das Joule'sche Gesetz bestimmten Umsetzung der elektrischen Energie zu verwechseln, zumal sie ohnehin durch die geringen Stromstärken, wie sie bei der Galvanisation angewendet werden, nicht von Bedeutung ist.

Die Hyperaemie ist an der Kathode stärker ausgeprägt und verschwindet nach einigen Stunden wieder. Reize mechanischer, thermischer und psychischer Art zeigen an der umschriebenen auftretenden Hautröte, daß die erhöhte Erregbarkeit der Vasodilatoren selbst noch nach Tagen vorhanden ist. An Hand ple-

thysmographischer Untersuchungen läßt sich nachweisen, daß der galvanische Strom nicht nur eine Oberflächen-, sondern auch eine Tiefenhyperaemie erzeugt. Die Durchströmung mit Gleichstrom führt also zu einer Intensivierung aller Stoffwechselvorgänge und übt eine antiphlogistische und resorptionsfördernde sowie sedierende und analgesierende Wirkung aus. Nicht zuletzt sei auf die bakterizide Wirkung des galvanischen Stromes hingewiesen, wie aus Untersuchungen von DIMMLING (5) und LUTZ (5) und anderen Autoren hervorgeht.

KOWARSCHIK, der Altmeister der modernen Elektrotherapie schrieb einmal, daß es wohl kein Gebiet in der Medizin gäbe, in dem so ausführliche und grundlegende experimentelle Unterlagen ausgearbeitet worden sind wie in der Elektrotherapie. Insbesondere die Galvanisation sei bei manchen Krankheiten allen anderen Verfahren überlegen. Auch in der Zahnheilkunde wird der Gleichstrom angewandt: um Bakterien im Wurzelkanal abzutöten, apikale Herde auszuheilen, oder akute Pulpitiden entweder durch Ionophorese oder durch elektromedikamentöse Eintreibung zu heilen. Meine Aufgabe bestand darin, die Wirkung des Gleichstromes auf die Pulpa von Meerschweinchen in histologischer Sicht zu untersuchen.

II. EIGENE EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

1. Versuchsanordnung

Für die Versuche standen 30 Meerschweinchen zur Verfügung. 27 Tiere wurden der Behandlung unterzogen. Die drei übrigen Tiere sollten als Kontrolltiere dem Gleichstrom nicht ausgesetzt werden. Den für die Versuche nötigen galvanischen Strom lieferte ein in der konservierenden Abteilung der Universitätszahnklinik München für therapeutische Zwecke verwendetes Gerät Jontophor-Supra.

Die Gesichtspunkte, nach denen vorgegangen wurde, zeigt am besten folgendes Schema: Es wird hierbei die angewandte Stromstärke und die Überlebenszeit der Tiere berücksichtigt. Die verwendeten Dosen bewegten sich zwischen 1,5 und 8 mA x Minute.

TABELLE Nr. 1 : Überlebenszeit der Meerschweinchen

Stromstärke mA	Zeit							
	1 Tag	1 Woche	2 W	4 W	6 W	8 W	10 W	12 W
0,5	Nr. 18		Nr. 20	Nr. 24		Nr. 3		Nr. 4
1,0	Nr. 19	Nr. 13	Nr. 27	Nr. 26		Nr. 22		Nr. 21
2,0	Nr. 23		Nr. 25	Nr. 12		Nr. 14		Nr. 16
3,0	Nr. 2		Nr. 10	Nr. 1	Nr. 9	Nr. 5		Nr. 6
4,0			Nr. 11	Nr. 15		Nr. 17		
5,0				Nr. 7		Nr. 8		

Unter den von 1-27 nummerierten Tieren wurden 5 Tiere mit einer Stromstärke von 0,5 mA behandelt, bei einer Überlebenszeit von einem Tag, 2 Wochen, 4 Wochen, 8 Wochen und 12 Wochen. Nach derselben Einteilung wurde bei je 5 Tieren mit 1,0 mA, 2,0 mA und 3,0 mA vorgegangen. Mit 4,0 mA wurden 3, mit 5,0 mA 2 Tiere in die aus dem obigen Schema ersichtliche Überlebenszeit eingeteilt. Tier Nr. 13 und Nr. 9 erhielten eine außerplanmäßige Überlebenszeit.

Infolge der für die Versuche ungünstigen anatomischen Verhältnisse im Molarenbereich, die die Ableitung des elektrischen Stromes über die feuchte Zahnoberfläche auf Schleimhaut und Periodontium begünstigen, kamen nur die zwei Nagezähne des Oberkiefers wie Unterkiefers in Frage; dabei wurde der Strom jeweils nur durch die Pulpa des linken Zahnes geschickt. Der rechte Nagezahn wurde bei der histologischen Auswertung als Vergleichszahn herangezogen.

Das Anlegen der Elektroden erforderte bei den relativ kleinen Zähnen besondere Sorgfalt. Es mußte die eventuell durch Schmerzauslösung verstärkt auftretende Unruhe der Tiere durch Narkose verhindert werden. Zur Betäubung diente eine 2 %ige Avertin-Lösung, die durch eine i.p. Injektion appliziert wurde. Die erforderliche Maulsperre wurde durch einen zwischen die Kiefer geklemmten Gummikeil erreicht. Das Ableiten des Stromes auf den Nachbarzahn wurde durch Zwischenlegen von Spanngummi oder eines Zahnröntgenfilmes verhindert. Vor Auflegen der Elektrode auf den Zahn wurde mittels eines Blasebalges jeglicher Speichelfilm beseitigt. Das Anlegen der Elektroden erfolgte in der Weise, daß der positive Pol in Gestalt eines Zehnpfennigstückes, unter Zwischenlage eines mit physiologischer Kochsalzlösung getränkten Gazestreifens auf die vom Fell befreite, nackte Bauchhaut gelegt wurde. Eine mit Watte umwickelte Exzisionsnadel, ebenfalls angefeuchtet mit physiologischer NaCl-Lösung, schloß den Stromkreis an dem durch Abkauen von Schmelz befreiten Dentin des Zahnes.

Um Fehlerquellen möglichst auszuschalten, wurde die watteumwickelte Kathode nur leicht getränkt. Damit sollte eine Ausbreitung der Flüssigkeit über den gesamten Zahn und eine eventuelle Überleitung des Stromes auf den Nachbarzahn vermieden werden. Damit man den eventuellen Einfluß der Richtung des Stromflusses prüfen konnte, ist die Anode und Kathode bei einer Anzahl von Meerschweinchen vertauscht worden.

2. Reaktion und Verhalten der Tiere nach der Behandlung

Nach der Behandlung der Tiere erfolgte eine laufende Überprüfung ihres Befindens. Es wurde sowohl die Freßlust, die Beweglichkeit, das Fell und der Allgemeineindruck kontrolliert und mit unbehandelten Tieren verglichen. In keinem der angeführten Punkte konnte ein wesentlicher Unterschied festgestellt werden, mit Ausnahme eines einzigen Tieres, das an zunehmenden Gleichgewichtsstörungen litt.

3. Histologische Ergebnisse

Die histologische Verarbeitung des Materials erfolgte durch Formolfixierung, Celloidinschnitt und HE-Färbung.

Auf Grund der mikroskopischen Untersuchungsergebnisse ließ sich die oben angeführte Tabelle nicht mehr aufrechterhalten. Es hat sich gezeigt, daß die Gewebsveränderung in der Pulpa sich nicht schematisch, entsprechend den Überlebenszeiten der Meerschweinchen 1 Tag, 1 Woche, 2 Wochen, 4 Wochen, 6 Wochen, 8 Wochen und 12 Wochen einordnen ließen. Bemerkenswert ist jedoch die Tatsache, daß bei den Tieren, die nach der Behandlung am längsten lebten und einer Stromstärke bis zu 2 mA ausgesetzt wurden, zum Teil die histologischen Veränderungen in der Pulpa weniger stark ausgeprägt waren als bei solchen, die nur kürzere Zeit lebten. Dies läßt sich nur durch die Regenerationsfähigkeit der Pulpa erklären, die bei den länger überlebenden Tieren mehr Zeit zur Erholung und Reaktion auf den gesetzten Reiz hatte als die kürzer überlebenden Tiere. Außerdem konnte der Faktor der Dosierung, das Produkt aus Stromstärke $\times$ Zeit, nicht mehr berücksichtigt werden, weil sich die Dosen im wesentlichen zwischen 5 und 8 mA $\times$ Minute bewegten und es sich aus den Untersuchungen ergab, daß die Stromstärke als reizauslösendes Moment des elektrischen Gleichstromes die primäre Rolle spielte. Denn die Gewebsveränderungen und Gewebschädigungen waren bei höherer Stromstärke und kürzerer Einwirkungsfrist größer als umgekehrt bei geringerer Stromstärke und längerer Zeit, was auch von verschiedenen Autoren wie BERNARD (2), SAUERWEIN (30) bestätigt wird. Anders lagen die Verhältnisse bei einer Stromstärke von 3 mA an. Hier traten mit zunehmender Überlebenszeit auch graduell verstärkte Pulpenveränderungen auf.

Nach diesen Feststellungen ließen sich die Ergebnisse der histologischen Untersuchung als Funktion der Stromstärke folgendermaßen aufgliedern:

TABELLE Nr. 2:

Histologische Veränderungen

- 0,5 A a) Gefäße: Stauungs- Hyperaemie der zentralen Pulpengefäße und der Kapillaren der Odontoblastenzone. Vermehrtes Auftreten von Leukozyten in den Gefäßen.
- b) Pulpengrund- Retikuläre Atrophie der Pulpa, incisal beginnend.
 substanz:
- c) Odontoblasten: Beginnende Vakuolenbildung im inzisalen Bereich der Pulpa.
- d) Dentin: Keine Veränderung.

TABELLE Nr. 3:

Histologische Veränderungen

- 1,0 mA a) Gefäße: Geringe Hyperaemie der Pulpengefäße wie bei 0,5 mA.
- b) Pulpengrund- Beginnende leichte retikuläre Atrophie der Pulpa
 substanz: incisal entlang der Odontoblasten.
- c) Odontoblasten: Auftreten von einzelnen Vakuolen zwischen den Odontoblasten.
- d) Dentin: Keine Veränderungen.

TABELLE Nr. 4:

Histologische Veränderungen

- 2,0 mA a) Gefäße: Hyperaemie schwach ausgeprägt wie bei 0,5 und 1,0 mA.
- b) Pulpengrund- Keine Veränderung.
 substanz:
- c) Odontoblasten: Keine Veränderung.
- d) Dentin: Keine Veränderung.

TABELLE Nr. 5:

Histologische Veränderungen

3,0 mA	a) <u>Gefäße:</u>	Starke Hyperaemie sämtlicher Pulpengefäße. Anzeichen von Stase mit homogenen Thromben in einzelnen Gefäßen. Braungrüne Pigmentbildung in incisalen Gefäßen. Anhäufung von weißen Blutkörperchen innerhalb und teilweise auch außerhalb von Gefäßen.
	b) <u>Pulpengrund- substanz:</u>	Ausgeprägte retikuläre Atrophie, mit leukozytären Infiltrationen. Beginnende fettige Degeneration.
	c) <u>Odontoblasten:</u>	Vakuolige Degeneration. Auflösung des Odontoblastenverbandes und Streuung in die Pulpa. Verschiebung von Odontoblastenkernen in Richtung Praedentin? Einzelne Leukozyten und Erythrozyten im Odontoblastensaum.
	d) <u>Dentin:</u>	Praedentinsaum unregelmäßig verdickt.

TABELLE Nr. 6:

Histologische Veränderungen

4,0 mA	a) <u>Gefäße:</u>	Hyperaemie der Pulpengefäße, Stase, Thrombenbildung. Vereinzelt Hämorrhagien. Leukozytenanhäufungen innerhalb und außerhalb der Gefäße.
	b) <u>Pulpengrund- substanz:</u>	Retikuläre Atrophie der Pulpa.
	c) <u>Odontoblasten:</u>	Verlust der exakten Begrenzung der Odontoblasten zum Praedentin. Vakuolige Degeneration.
	d) <u>Dentin:</u>	Keine Veränderungen.

TABELLE Nr. 7:

Histologische Veränderungen

5,0 mA a) <u>Gefäße:</u>	Starke Hyperaemie. Maximal erweiterte Gefäße, incisal gelegen, die gleichsam als Blutseen imponieren. Stase in den Gefäßen, mit Thromben. Grünliche Pigmentierung des Blutplasmas. Hämorrhagien. Leukozyteninfiltrationen in den Gefäßen, einzelner Austritt aus den Gefäßen.
b) <u>Pulpengrundsubstanz:</u>	Retikuläre Atrophie incisal. Fettige Degeneration. Leukozyten- und Rundzelleninfiltrationen. Fibröse Entartung der Pulpa.
c) <u>Odontoblasten:</u>	Vakuolige Degeneration. Leukozyten und entzündungsähnliche Zellen in der Odontoblastenzone. Extravasale Erythrozyten zwischen Odontoblasten und Praedentin.
d) <u>Dentin:</u>	Praedentinsaum ungleichmäßig.

III. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

a) Die Gefäße der Pulpa

Zunächst konnte kein wesentlicher Unterschied zwischen dem rechten unbehandelten und linken behandelten Zahn festgestellt werden. Gegenüber den Kontrolltieren, die dem elektrischen Gleichstrom nicht ausgesetzt wurden, zeigte sich jedoch, daß sowohl Zahl, Durchmesser und Füllungsgrad der Gefäße größer waren. Die mehr oder weniger starke Hyperaemie, auch des rechten Zahnes, kann mit Sicherheit auf den anatomischen Bau und die Lage der Nagezähne zueinander zurückgeführt werden. Im Gegensatz zu den menschlichen Zähnen ist bei den Meerschweinchenincisivi der Übergang von Pulpa zu Wurzelhautgewebe ein äußerst breiter. Von einem Foramen apicale kann hier nicht gesprochen wer-

den. Durch die enge Nachbarschaft beider Nagezähne ist daher eine Beeinflussung der Pulpa des nicht behandelten Zahnes durch den elektrischen Gleichstrom nicht verwunderlich.

Die erweiterten Gefäße zeigten Anzeichen von Stase und waren in einigen Fällen angefüllt mit homogenen Thromben (Abb. 3). Die Durchdringung der Thromben mit teilweise massenhaften weißen Blutkörperchen spricht für die Thrombenbildung *in vivo*, und zwar als Folge der Stase und nicht etwa für ihre Entstehung *post mortem*. Besonders an der Pulpenspitze, also der Stelle, wo die Elektrode der Pulpa am nächsten lag, traten maximale Gefäßerweiterungen auf, die gleichsam als Blutseen imponierten. Dabei zeigte das Plasma als Folge des Blutfarbstoffabbaues grünliche Pigmentierung. Auffallend waren ebenfalls die in diesen Gefäßabschnitten herdweise auftretenden Massierungen von weißen Blutkörperchen (Abb. 4, Abb. 2, Abb. 3). Bei der Stromstärke von 5 mA konnten ausgetretene Erythrozyten festgestellt werden. Ein weiterer Vergleich ergab, daß die Zahl der Kapillaren nahe der Odontoblastenzone eine größere war. Im histologischen Schnittbild zeigten die Kapillaren außerdem entgegen der Norm einen stark gewundenen Verlauf und traten verstärkt zwischen den Odontoblasten auf. Dies kann als Folge des Reizes des elektrischen Gleichstromes betrachtet werden, wobei es entweder zur vermehrten Durchblutung von sonst nicht in den Kreislauf einbezogenen Kapillaren oder zur Neubildung von Kapillaren als Folge des Reizes kommt, wie sie zum Beispiel HELLNER (10) durch Guttapercha, MANLEY (21) durch Kavitätenpräparation und FISH (7) in Fällen von Verletzungen von Zähnen nachgewiesen hat. Extravasal gelegene Erythrozyten, die vereinzelt, vor allem bei den höheren Stromstärken von 4-5 mA aufgetreten und unverändert im Pulpen- gewebe gelegen sind, müssen ebenfalls als Folge des Gleichstromes betrachtet werden, in der Art, daß der Reiz des Stromes zu einer verstärkten Durchlässigkeit der Gefäßwände geführt hat. Diese Erscheinung stellt aber ein Kriterium der Haemorrhagie dar. So hält PALAZZI (26) isoliert auftretende Erythrozyten im fibrillären Netzwerk der Grundsubstanz als ein Zeichen für die "diapedetische Tätigkeit". FISH (7) behauptet zum Beispiel, daß die Haemorrhagien in der Odontoblastenzone nach der Kavitätenpräparation als Folge einer "immediate decompression" entstünden, während HELLNER (10) nachwies, daß Blutungen per diapedesin und per rhexin nach Injektionen auftraten.



Abb. 1 Normaler unveränderter Pulpenausschnitt eines unbehandelten Zahnes.

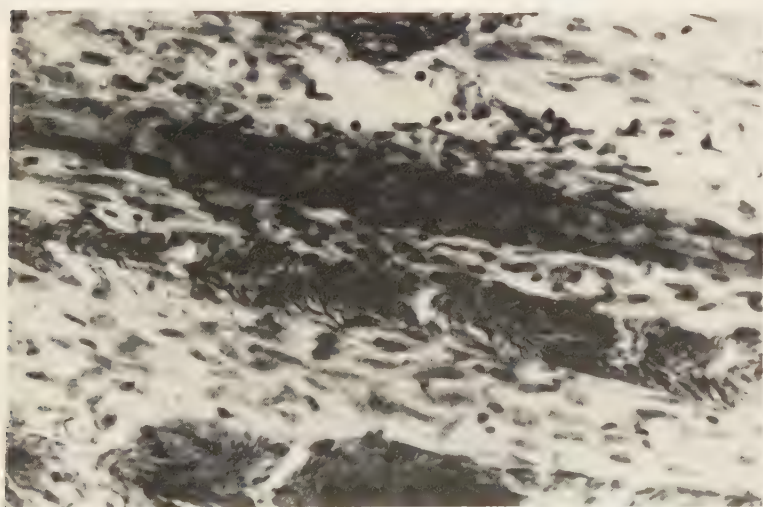


Abb. 2 Gestaute Gefäße. Zellige Infiltration von Leukozyten, Lymphozyten und Rundzellen im umgebenden Pulpengewebe.

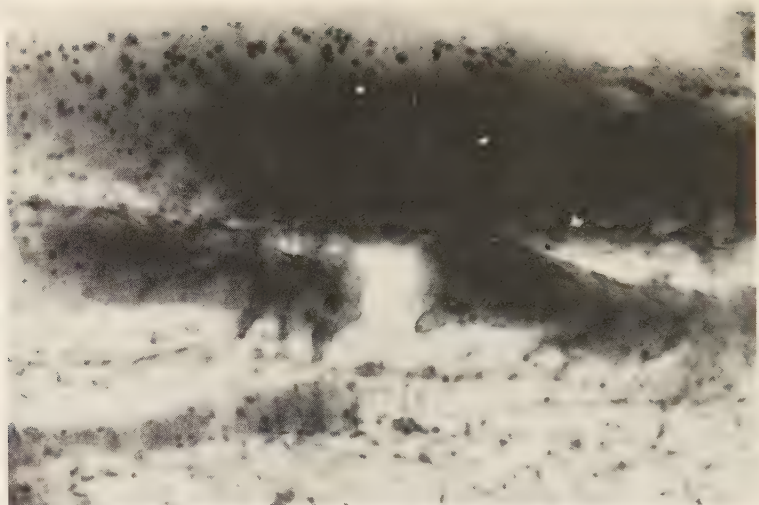


Abb. 3 Retikuläre Atrophie der Pulpa. Starke Ansammlung von Leuko-, Lympho- und Monozyten in den thrombosierte Gefäßen.

b) Die Grundsubstanz der Pulpa

Veränderungen des Pulpengewebes, wie sie sowohl durch endogene Faktoren, beispielsweise große Dentikeln oder Pseudozysten, die Ernährungsbahnen abdrosseln, als auch durch exogene Reize, wie mechanischer, thermischer oder infektiös-toxischer Natur, auftreten, konnten auch durch die Stromeinwirkung herbeigeführt werden. Zwar stellten verschiedene Verfasser wie KRONFELD (18), CSERNYEI (4), um einige zu nennen, fest, daß die vakuoläre, retikuläre Atrophie, die fettige und fibroide Degeneration der Pulpa im Laufe des Lebens physiologisch auftretende Veränderungen sind, aber die Mehrheit unter ihnen betrachtet diese Veränderungen als Reaktionen pathologischer Natur.

So glaubte zum Beispiel REICHBORN-KJENNERUD (28), die Ursache seien Zirkulationsstörungen. PALAZZI (26) beobachtete sie nach Kavitätenpräparationen und Silikatzement. THOMA (35) behauptete, die fibröse Entartung der Pulpa sei gewöhnlich das Endergebnis der degenerativen Atrophie infolge Fehlens des

Regenerationsvermögens des Pulpengewebes.

Verfolgt man die Wirkung des Gleichstromes auf die Pulpengrundsubstanz, so zeigt das histologische Zustandsbild, daß sowohl die vakuoläre Atrophie (Abb. 5, Abb. 6), in erster Linie entlang des Odontoblastensaumes beginnend, die retikuläre Atrophie der Pulpa mit fibroider Entartung, als auch die fettige Degeneration auftraten (Abb. 7). Gleichzeitig wurde jedoch die bei allen Tieren physiologischerweise durch die Abkautung bedingten regressiven Veränderungen der Pulpenspitze berücksichtigt. Sie zeigten sich in charakteristischer Art durch das Verdämmern dieses Gewebsanteiles. Bereits bei 0,5 mA trat als erste Form der pathologischen Veränderungen eine geringe retikuläre Atrophie auf, und zwar nur an der Pulpenspitze, also an der Eintrittsstelle des Stromes. Deren Netzwerk hat man sich durch den Druck der in den Maschenräumen gelegenen Flüssigkeit entstanden zu denken (29). Mit Zunahme der Stromstärke dehnten sich die Erscheinungen auf einen größeren Teil der Pulpa aus. Ab einer Stromstärke von 3 mA stellte sich zusätzlich eine fibrilläre Entartung der Pulpa als Folge der gestörten Blutzirkulation ein. Eine weitere Veränderung zwischen 3 und 5 mA war die von incisal beginnende degenerative Verfettung der Pulpazellen (Abb. 7). Außer diesen rein auf die Pulpengrundsubstanz gerichteten Veränderungen wurden, wie bereits erwähnt, Erythrozyten lokalisiert vorgefunden, die durch Gefäßwandstörungen verursacht waren. Zwischen 3 und 5 mA wurden auch deutliche Infiltrationen von Leukozyten und Rundzellen festgestellt, die

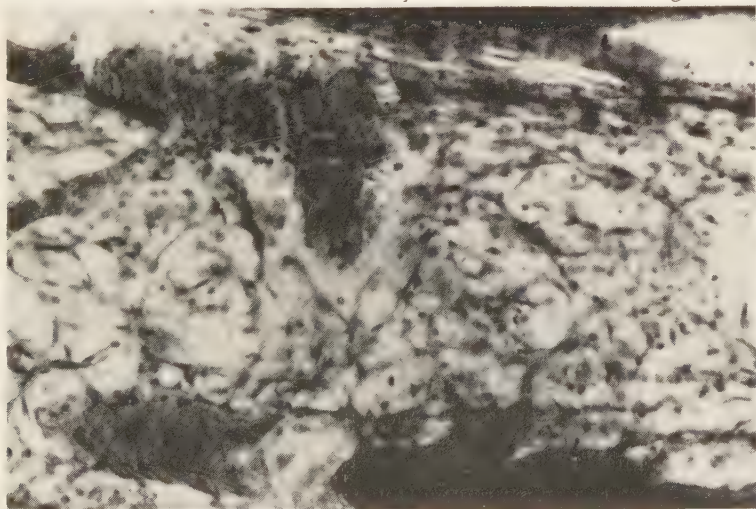


Abb. 4 Netzförmige Atrophie der Pulpa. Massierung randständiger Leukozyten und Lymphozyten in den Gefäßen und infiltriertes Pulpengewebe.

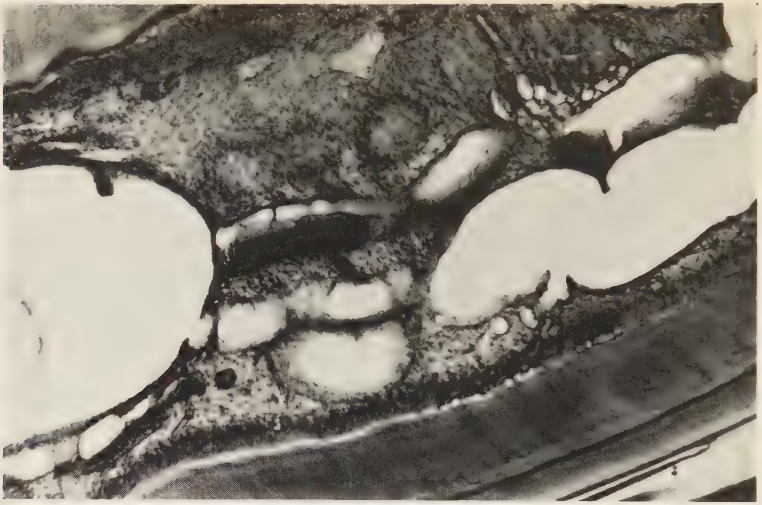


Abb. 6 Riesige hydropische Hohlraumbildung in der Pulpa, Vakuolige Degeneration der Odontoblasten, Gestaute Gefäße.

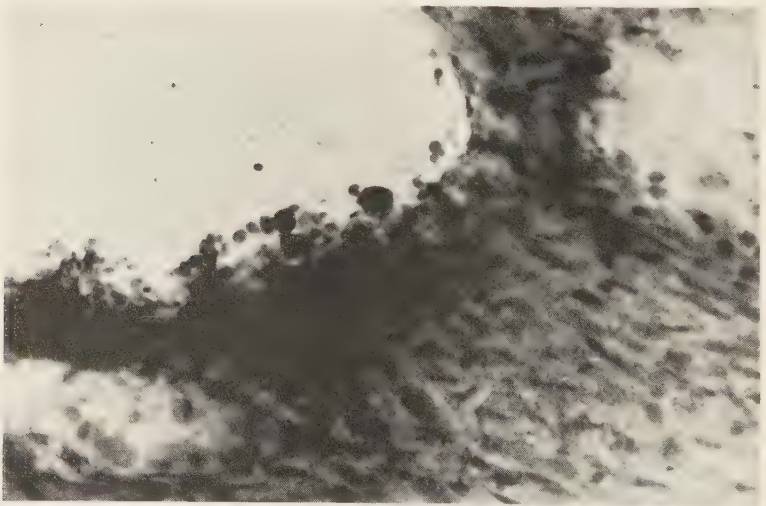


Abb. 7 Fettige Degeneration der Pulpenzellen, mit exzentrisch gelagerten Zellkernen.

besonders in der Umgebung hyperaemischer Gefäße anzutreffen waren (Abb. 4). Diese Entzündungszellen, die auch in scheinbar klinisch intakten Zähnen gefunden wurden, erklärte Kaare LANGE LAND (19) als die Folge eines nicht wahrgenommenen Kariesangriffes. Da aber an keinen der Meerschweinchenzähne Karies oder andere Verletzungen festgestellt werden konnten, müssen diese Zellinfiltrationen im Pulpengewebe auf die Wirkung des elektrischen Gleichstromes zurückgeführt werden.

c) Die Odontoblastenzone

Die Vakuolisierung, beziehungsweise vakuolige Degeneration der Odontoblasten, wird in der zahnärztlichen Literatur allgemein als interzelluläre Hohlraumbildung innerhalb der Odontoblastenschicht betrachtet.

LINK (20) bezeichnet diese außerhalb der Zellen gelegenen Vakuolen als "Lückenfehlbildung" und betont den oedematösen Charakter dieser Gewebsalteration. Nach O. MÜLLER (22) sollen diese Vakuolen durch Zugrundegehen und spindelige Entartung der Odontoblasten entstehen, was als Vorläufer der retikulären Atrophie der Pulpa angesehen werden kann. Von MEYER (12), DOERR (12), BECKER (12), NEUBERT (12) wird die intrazelluläre Vakuolenbildung als Stoffwechselstörung der Pulpa betrachtet, während sie BÜCHNER (12) auf akuten Sauerstoffmangel zurückführt. CSERNYEI (4) glaubt, daß jegliche Verletzung der Tom'schen Faser eine strukturelle, morphologische und funktionelle Pulpenveränderung erzeuge. LANGE LAND (19) hingegen vertritt die Ansicht, daß diese hydropisch vakuolären Veränderungen in der Odontoblastenschicht nicht als pathologische Pulpenreaktion zu bewerten seien, sondern betrachtet sie als Artefakte.

Nach den eigenen tierexperimentellen Untersuchungen scheint jedoch die Annahme LANGE LANDs unwahrscheinlich. Bei den Kontrolltieren konnten keine Vakuolen gefunden werden. Ähnliche Feststellungen machten auch HOPPE (12) und HAHN (12). Sie gelangten auf Grund ihrer Untersuchungen zu der Annahme, daß die hydropisch-vakuolären Alterationen der Odontoblasten als morphologisch faßbarer Ausdruck einer temporären Insuffizienz des energetischen Zellsystems zu deuten seien. Außerdem wurde 1942 von PICHOTKA (12) nachgewiesen, daß das Fixans Vakuolen nicht hervorrufe. Offensichtlich führte auch der elektrische Gleichstrom, besonders in einer Stärke von 3 und mehr mA zu dieser vakuoligen Degeneration (Abb. 5, Abb. 6). Sie beginnt bei kleinen Stromstärken zunächst an der Pulpenspitze mit einzelnen eingelagerten, die Zellen verdrängenden Hohlräumen. Bei größeren, dehnen sich die Vakuolen auf die übrige Odontoblastenzone der Pulpa aus, unter völligem Verschwinden der Odontoblasten-

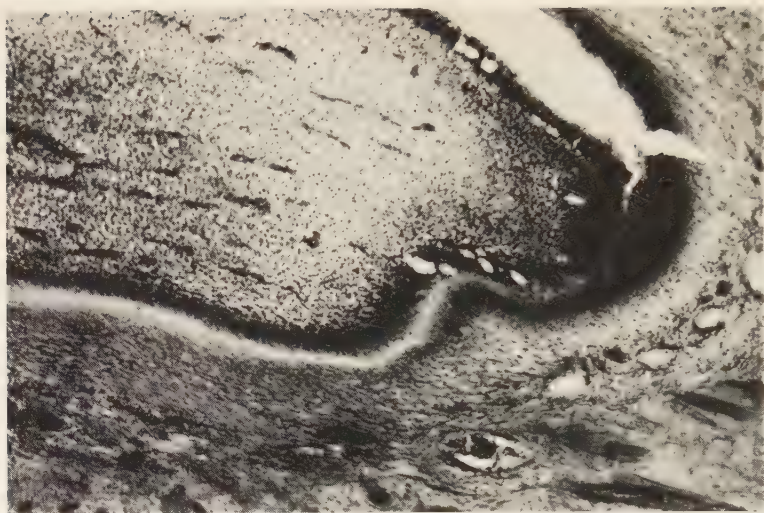


Abb. 5 Vakuolenbildung in der Odontoblastenzone im Bereich des Fundus eines rechten unbehandelten Zahnes.

zellen. Auffallend war die Veränderung der Odontoblastenzone auch des rechten unbehandelten Zahnes in Form dieser vom Fundus der Pulpa aufsteigenden Vakuolisierung. Dies wurde bereits im Kapitel über die Gefäße erwähnt. Damit wird das Übergreifen des elektrischen Gleichstromes von retrograd her erneut bestätigt. Eine weitere von der Norm abweichende Erscheinung in der Odontoblastenzone behandelter Zähne war das vereinzelte Auftreten von Erythrozyten, Leukozyten und entzündungszellenähnlichen Gebilden. LANGE LAND (19), der letztere Zellen ebenfalls beobachtete, lehnte die Deutung als Entzündungszellen ab. Er stellte fest, daß bei seinen Untersuchungen durch den Ansatz der Extraktionszange an der Wurzel die Tom'schen Fasern zugrunde gegangen wären, die Odontoblasten sich ablösten und damit diese Gestalt angenommen hätten.

d) Das Dentin

Veränderungen im Dentin können durch die verschiedensten Reize hervorgerufen werden. So wurden zum Beispiel kernähnliche Gebilde in den Dentinka-

nälchen häufig beschrieben. Als erster dürfte sie ORBAN (25) als Odontoblastenkerne interpretiert haben, die als Folge des Zangendrucks bei der Extraktion eines Zahnes in die Dentinkanälchen eingesogen oder hineingepumpt wurden. Er ließ auch die Möglichkeit offen, daß die Odontoblasten durch die Schrumpfung der Tom'schen Fasern in die Dentinkanälchen gezogen würden, was auch von KREUDENSTEIN (17) angenommen wird. FISCHER (8) betrachtet die "Aspiration" als das Ergebnis einer mechanischen, thermischen oder chemischen Irritation der Tom'schen Faser, die die Zellen veranlaßt, mehr oder weniger weit in die Dentinkanälchen einzudringen. Die meisten Autoren sind sich darin einig, daß es die Odontoblastenkerne sind, die durch Saugen, Pressen, auf chemotaktischer Grundlage wie MÜLLER und MAEGLIN (23) glauben, oder durch Schrumpfungszug der Tom'schen Faser, in die Kanälchen gelangen. Aber über die Art, wie sie dort hineingelangen und die Bedeutung dieses Phänomens gehen die Meinungen auseinander. Als Ursache für diese Einwanderung der Odontoblasten in die Dentinkanälchen werden in der Literatur die Extraktion mit Hilfe der Zange, die Kavitätenpräparation mit und ohne Luft, mit Wasserstrahl und nachfolgendem Einblasen von Luft in die Kavität, angeführt.

Wenn man nun annahm, der elektrische Gleichstrom führe als Reiz auf die Pulpa zu ähnlichen Erscheinungen, so wurde dies nicht bestätigt. Keine der angewandten Stromstärke zwischen 0,5 und 5 mA führte zu einer solchen Veränderung im Dentin. Zwar konnte in manchen Schnitten eine Verlagerung der Odontoblastenkerne in Richtung Praedentin festgestellt werden, sie jedoch als Stromfolge zu betrachten, wäre zu weit gegriffen.

Eine Einwanderung von Leukozyten oder Erythrozyten in die Dentinkanälchen, wie sie unter anderen von ORBAN (25) und Langeland (19) durch die Einwirkung verschiedenster Außenfaktoren erzielt wurde, konnte bei Stromwirkung von mir nicht beobachtet werden. Dagegen äußerte sich die Wirkung des elektrischen Gleichstromes sichtbar auch im Praedentin. Von der Stromstärke 3 mA aufwärts, trat an verschiedenen Stellen eine unregelmäßige Verbreiterung und Verschmälerung des Praedentinsauumes auf. Der Strom führte also zu einer mehr oder weniger starken Aktivität der Odontoblasten. An den entsprechenden Odontoblasten- und Pulpenabschnitten war jedoch keine histologische Veränderung zu bemerken. Ein weiteres Kriterium des elektrischen Gleichstromes, nämlich die Bildung von Sekundärdentin, wie sie von amerikanischen Autoren als Nebenbefund bei ionophoretischer Desensibilisierung des Zahnbeines mit Na, Fl, Cl, Ca und Phosphaten als Elektrolyt gefunden wurde, konnte durch die eigenen Versuche nicht bestätigt werden.

D. ZUSAMMENFASSUNG

- 1) Das Verhalten der Tiere vor und nach der Behandlung ergab keine wesentliche Abweichung von der Norm.
- 2) Unter dem Einfluß von Stromstärken zwischen 0,5 und 2 mA beginnt die Pulpa ähnlich wie auf andere exogene, mechanische, thermische oder chemisch-toxische Reize zu reagieren. Sämtliche Pulpengefäße, sowohl des Zentrums als auch peripher entlang der Odontoblastenzone und des Fundus der Pulpa, sind hyperaemisch erweitert. Die Pulpengrundsubstanz beginnt nur örtlich, und zwar von koronal her, retikulär zu atrophieren, meist verbunden mit einigen vakuolig degenerativ veränderten Odontoblastenabschnitten.
- 3) Ab der Stromstärke von 3 bis 5 mA treten diese histopathologischen Veränderungen in verstärktem Maße auf. Die Gefäße sind extrem erweitert mit Anzeichen einer Stase, teilweise angefüllt mit homogenen Thromben sowie leukozytären Infiltrationen in- und außerhalb der Gefäße. Extracapilläre Erythrozyten zeugen von Haemorrhagien. Die dystrophischen und atrophischen Veränderungen greifen auf einen großen Teil der Pulpengrundsubstanz und der Odontoblasten über. Im Odontoblastensaum treten Entzündungszellen und extravasale Erythrozyten auf. Die Pulpa zeigt fettige Degeneration und fibröse Entartung. Die Praedentinbildung ist stellenweise unregelmäßig. Eine Sekundärdentinbildung war nicht nachzuweisen.

E. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALVENSLEBEN: Handbuch der Unfallheilkunde.
Enke, Stuttgart 1932, Bd. 1
2. BERNARD, P.D.: Über die Ionophorese.
D.Z.B. 11, H 10
3. BORUTTAU, H. u.
L. MANN: Handbuch der gesamten medizinischen Anwendung
der Elektrizität, Bd. I, Leipzig, W. Klinkhardt
1909
4. CSERNYEI, I.: Die Zahnpulpa und die Zemente.
D.Z.Z. 3:929, 1948
5. DIMMLING-LUTZ: Experimentelle bakteriologische Untersuchungen
über die Wirksamkeit der Hydroxylionophorese.
D.Z.Z. 1951/5 u. 6
6. ERB, W.: Handbuch der Elektrotherapie.
Leipzig: F.C.W. Vogel, 1886
7. FISH, E.W.: An experimental investigation of enamel, dentin
and dental pulp. London 1932.
8. FISCHER, C.-H.: Odontoblastenkerne im Dentinkanal.
Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilkunde, 1953
9. FLECKENSTEIN, A.: Die periphere Schmerzauslösung und Schmerzaus-
schaltung.
1950a, Frankfurt a.M.: Dr. Dietrich Steinkopff
10. HELLNER, E.: Undersökningar över reaktiva förändringar i tan-
dens pulpaavvärdnad vid användning av olika s.k.
isoleringsmedel och fyllnads-material.
Svensk Tandläk.T. 21:25, 1928.
Referiert nach Langeland

Experimentella och histologiska undersökningar
över novocain-suprareninlösningens inverkan på
den levande mänskliga pulpa vävnaden vid injek-
tionsanästesi särskilt med hänsyn till dess inflytan-
de på pulpans kärlsystem.
Svensk Tandläk.T. 20:331, 1927.
Referiert nach Langeland

11. HERMANN: Referiert nach Kowarschik
12. HOPPE, W. u.
HAHN, W.: Über die Entstehung von Vakuolen in Odontoblasten. Sonderdruck aus D.Z.Z. Jg. 18, 1963, H. 10
13. KILLINGER, I.: Vergleichende Untersuchungen von elektrischen Unfällen durch Gleichstrom bei Spannungen bis 1200 V in technischer Hinsicht. Elektromedizin, Bd. 4, 1959, H. 5
14. KOEPPEN: Erkrankungen der inneren Organe und des Nervensystems nach elektrischen Unfällen. Springer, Berlin 1953 (29:42 ff)
15. KOEPPEN, S.R., EICHLER G., FOLZ, D. HOPPE, W. HOZANG, F. KOSTKA u. P. OSYPKA: Der elektrische Unfall: Elektromedizin, Bd. 6, H. 4
16. KOWARSCHIK, I.: Elektrotherapie, 3. Auflage, Berlin: I. Springer, 1929

Physikalische Therapie, 1948
17. KREUDENSTEIN, T. u. SPRETER, V.: Über das Zustandekommen der Gewebsveränderungen im Zahnmark bei der Einwirkung des monomeren Methacrylsäuremethylesters. D.Z.B., H. 13, 1956
18. KRONFELD, R.: Histopathology of the teeth and their surrounding structures. Philadelphia and London, 1933
19. LANGELAND, K.: Tissue changes in the dental pulp. Göteborg 1957
20. LINK, K.: Über Veränderungen der Pulpa bei luxierten Zähnen. Zschr. Path. 68, 596, 1957/58
21. MANLEY, E.B.: A preliminary investigation into the reaction of the pulp to various filling materials. Brit. dent. J. 60:321, 1936
22. MÜLLER, O.: Pathohistologie der Zähne. Benno Schwabe & Co., Basel 1948

23. MÜLLER, O. and MAEGLIN, B.: The histological changes in the pulp of teeth filled with selfpolymerizing resins. Int. dent. J. 1953
24. NERNST, W.: Zur Theorie des elektrischen Reizes. Julius Springer, 1909
25. ORBAN, B.: Odontoblasts in the dentinal tubuli. I. dent. Res. 1941

Migration of leukocytes into the dentinal tubules. I. AD. A. 1940
26. PALAZZI, S.: Über die anatomischen Veränderungen der Zahnpulpa im Gefolge von Silikatzementfüllungen, 1923
27. PIONTKOWSKY, RIED, zitiert nach Kowarschik KOSAKA, IZAWA:
28. REICHBORN-KJENNERUD: Om sirkulasjonsforstyrrelser i pulpavevet og deres følger. Odont. T. 49:111, 1941. Referiert nach Langeland
29. RÜGHEIMER, K.: Galvanotherapie: 100 Jahre Galvanotherapie. Dr. Robert Remaks Entdeckung und Tat. Schlachters vor Lindau, Wohlmuthverlag, 1956
30. SAUERWEIN, E.: Zur Frage der bakteriziden und alkalisierenden Wirkung der Ionophorese. Sonderdruck aus D.Z.Z., 9.Jg., 1954, H. 3
31. SCHAEFER: Referiert nach Kowarschik
32. SCHEMINSKY: Referiert nach Kowarschik
33. SCHÜTZ, E.: Physiologie 1961
34. SESTIER, BOELLMANN, Referiert nach Boruttau, H. u. L. Mann PELISSE, BOUDIN, VINCENT:
35. THOMA, K.H.: Oralpathology. 3 ed St. Louis 1950

- | | |
|--|-------------------------|
| 36. VERNAY, DIGNAT,
BERGONIÉ, LEDUC,
KLARE, STAUB: | Zitiert nach Kowarschik |
| 37. WILLIAMS, FERRIS,
KING, SPENCE: | Referiert nach KOEPPEN |

Am Schluß dieser Arbeit sei es mir gestattet, meiner verehrten Lehrerin, Frau Professor Dr. Dr. M. SCHUG-KÖSTERS für die Überlassung des Themas meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Besonders danke ich Herrn Dr. Dr. H. SCHACH für die wertvollen Anregungen und die jederzeit großzügige Hilfsbereitschaft.

LEBENS LAUF

Ich, Werner Gruber, wurde am 5.12.1938 in Olching bei München als Sohn des Zahnarztes Karl Gruber und seiner Ehefrau Berta geboren.

Ich besuchte bis 1950 die Volksschule in Olching. Danach trat ich in die Oberrealschule in Fürstenfeldbruck über, wo ich im Juni 1960 das Abitur ablegte.

Im Wintersemester 1960 begann ich mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Universität in München, wo ich auch im Sommer 1966 mein Studium mit dem Staatsexamen abschloß. Seit dem 15. August 1966 bin ich als Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle an der Konservierenden Abteilung der Universitätszahnklinik München tätig.

